

**Börje Felipe Fernandes  
Karlsson**

**Um Middleware de  
Inteligência Artificial para  
Jogos Digitais**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA  
Programa de Pós-graduação em  
Informática**

Rio de Janeiro  
Setembro de 2005



**Börje Felipe Fernandes Karlsson**

**Um Middleware de Inteligência Artificial  
para Jogos Digitais**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Informática do Departamento de Informática da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Bruno Feijó

Rio de Janeiro  
Setembro de 2005



**Börje Felipe Fernandes Karlsson**

**Um Middleware de Inteligência Artificial  
para Jogos Digitais**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Informática do Departamento de Informática do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Bruno Feijó**

Orientador

Departamento de Informática — PUC-Rio

**Prof. Antonio L. Furtado**

Departamento de Informática — PUC-Rio

**Prof. Angelo E. M. Ciarlini**

Departamento de Informática Aplicada — UniRio

**Prof. José Eugenio Leal**

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico —  
PUC-Rio

Rio de Janeiro, 08 de Setembro de 2005

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

### **Börje Felipe Fernandes Karlsson**

Graduou-se em Bacharelado em Ciência da Computação pela UFPE (Universidade Federal de Pernambuco). Durante sua graduação foi aluno de iniciação científica nas áreas de Inteligência Artificial e Redes. Atualmente realiza pesquisas em jogos para computadores e dispositivos móveis e participa de grupos de pesquisa nos laboratórios ICAD/IGames/VisionLab e TecGraf na PUC-Rio.

#### Ficha Catalográfica

Karlsson, Börje Felipe Fernandes

Um Middleware de Inteligência Artificial para Jogos Digitais/ Börje Felipe Fernandes Karlsson; orientador: Bruno Feijó — Rio de Janeiro : PUC–Rio, Departamento de Informática, 2005.

126 f. : il. ; 30 cm

1. Dissertação (mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Informática.

Inclui referências bibliográficas.

1. Informática – Teses. 2. Inteligência Artificial. 3. Entretenimento Digital Interativo. 4. Jogos Digitais. I. Feijó, Bruno. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. III. Título.

CDD: 004

Ao meu pai, à Juliane (meu pingo) e à Carla (minha anjinha); três pessoas muito importantes em diferentes aspectos da minha vida.

## Agradecimentos

A meus pais pela minha educação.

A Juliane, meu pingô, por ter me aguentado e apoiado nessa idéia de finalmente fazer o mestrado.

A Carla pela amizade e grande apoio e pelo seu papel primordial durante a minha graduação.

A Hedlena, outra grande amiga, pela amizade e por me dar corda nesse negócio de pós-graduação e pesquisa.

Ao Professor Bruno, meu orientador, pelas oportunidades, orientação e confiança.

Ao pessoal do ICAD pela amizade, companheirismo e colaboração. Especialmente ao Pozzer, Chico, Binder e Cris.

Ao Alberto, novamente ao Pozzer e ao pessoal do Tecgraf pelas experiências pessoais e profissional e pela compreensão nos momentos de aperto acadêmico.

Ao pessoal do DI, especialmente Deborah e Emanuelle, por me aguentarem e ajudarem com tudo que precisei.

Claro, tenho que agradecer às bandas que criaram as músicas que me serviram para concentração, instigação e como trilha sonora desse trabalho. Iron Maiden, Blind Guardian, Iced Earth, Hammerfall, Weezer, Counting Crows, Depeche Mode, Joy Division, The Cure, The Smiths, Smashing Pumpkins e tantas outras. Além da rádio on-line Virgin Classic Rock.

Agradeço também à agência CAPES pelo apoio financeiro, à FINEP pelo suporte à linha de pesquisa da qual o presente trabalho é fruto, e finalmente ao laboratório VisionLab/ICAD/IGames pelo ambiente de trabalho oferecido.

## Resumo

Karlsson, Börje Felipe Fernandes; Feijó, Bruno. **Um Middleware de Inteligência Artificial para Jogos Digitais**. Rio de Janeiro, 2005. 126p. Dissertação de Mestrado — Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A aplicação de inteligência artificial (IA) em jogos digitais atualmente se encontra sob uma constante necessidade de melhorias, na tentativa de atender às crescentes demandas dos jogadores por realismo e credibilidade no comportamento dos personagens do universo do jogo. De modo a facilitar o atendimento destas demandas, técnicas e metodologias de engenharia de software vêm sendo utilizadas no desenvolvimento de jogos. No entanto, o uso destas técnicas e a construção de *middlewares* na área de IA ainda está longe de gerar ferramentas genéricas e flexíveis o suficiente para o uso nesse tipo de aplicação. Outro fator importante é a falta de literatura disponível tratando de propostas relacionadas a esse campo de estudo.

Esta dissertação discute o esforço de pesquisa no desenvolvimento de uma arquitetura flexível aplicável a diferentes estilos de jogos, que dê suporte a várias funcionalidades de IA em jogos e sirva como base à introdução de novas técnicas que possam melhorar a jogabilidade.

Neste trabalho são apresentadas: questões de projeto de tal sistema e de sua integração com jogos; um estudo sobre a arquitetura de *middlewares* de IA; uma análise dos poucos exemplos desse tipo de software disponíveis; e um levantamento da literatura disponível. Com base nessa pesquisa, foi realizado o projeto e a implementação da arquitetura de um *middleware* de IA; também descritos neste trabalho. Além da implementação propriamente dita, é apresentado um estudo sobre a aplicação de padrões de projeto no contexto do desenvolvimento e evolução de um *framework* de IA para jogos.

## Palavras-chave

Middleware de Inteligência Artificial, Jogos Digitais, Inteligência Artificial para Jogos, Arquitetura de software, Padrões de projeto, Agentes Inteligentes em Jogos

## Abstract

Karlsson, Börje Felipe Fernandes; Feijó, Bruno. **An Artificial Intelligence Middleware for Digital Games**. Rio de Janeiro, 2005. 126p. MSc. Dissertation — Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The usage of artificial intelligence (AI) techniques in digital games is currently facing a steady need of improvements, so it can cater to players higher and higher expectations that require realism and believability in the game environment and in its characters' behaviours. In order to ease the fulfillment of these goals, software engineering techniques and methodologies have started to be used during game development. However, the use of such techniques and the creation of AI middleware are still far from being a generic and flexible enough tool for developing this kind of application. Another important factor to be mentioned in this discussion is the lack of available literature related to studies in this field.

This dissertation discusses the research effort in developing a flexible architecture that can be applied to different game styles, provides support for several game AI functionalities and serves as basis for the introduction of more powerful techniques that can improve gameplay and user experience.

This work presents: design issues of such system and its integration with games; a study on AI middleware architecture for games; an analysis of the state-of-the-art in the field; and a “survey” of the available relevant literature. Taking this research as starting point, the design and implementation of the proposed AI middleware architecture was conducted and is also described here. Besides the implementation itself, a study on the use of design patterns in the context of the development and evolution of an AI framework for digital games is also presented.

## Keywords

Artificial Intelligence Middleware, Digital Games, Artificial Intelligence for Games, Software Architecture, Design Patterns, Intelligent Agents in Games



## Conteúdo

1	Introdução	12
1.1	Objetivos	15
1.2	Contribuições	16
1.3	Estrutura	16
2	Inteligência Artificial em Jogos	18
2.1	Técnicas utilizadas	19
2.1.1	Máquina de Estados Finita	19
2.1.2	Sistema Baseado em Regras	21
2.1.3	Lógica <i>Fuzzy</i>	22
2.1.4	<i>Path-finding</i>	24
2.1.5	Comportamentos de Movimentação	26
2.1.6	Outras técnicas	32
2.1.6.1	Redes Neurais	32
2.1.6.2	Algoritmos genéticos	33
2.1.6.3	Planejamento	35
2.1.6.4	Redes Bayesianas	37
2.1.7	Agentes em Jogos	38
2.1.8	Conclusões e observações	40
3	<i>Middleware</i> de Inteligência Artificial	42
3.1	Definição de <i>middleware</i> de IA	42
3.2	Desafios	43
3.3	Projeto e estruturação	43
3.4	Estado da arte	46
3.4.1	DirectIA	46
3.4.2	Ai.implant	48
3.4.3	Renderware AI	48
3.4.4	Simbionic	49
3.4.5	Soar	50
3.4.6	Emotion AI	52
3.4.7	Outros <i>Middlewares</i>	53
3.4.7.1	BEHAVIOR	53
3.4.7.2	Pensor	54
3.4.7.3	FEAR	54
3.5	Outras considerações	55
3.6	Conclusões e observações	56
4	Arquitetura Proposta	58
4.1	Evolução da Arquitetura e Metodologia Empregada	58
4.1.1	Metodologia de evolução de <i>frameworks</i>	60
4.1.2	Metodologia aplicada ao <i>middleware</i>	62
4.2	Camada Serviço	64

4.3	Camada Cognição . . . . .	64
4.3.1	Aprendizado/Memória . . . . .	64
4.3.2	Emoção/Personalidade . . . . .	65
4.3.3	Tomada de Decisão . . . . .	68
4.4	Camada Comportamento . . . . .	69
4.4.1	Máquinas de Estados . . . . .	69
4.4.2	Movimentação . . . . .	70
4.4.3	Planejamento de Ações . . . . .	70
4.4.4	Lógica <i>Fuzzy</i> . . . . .	71
4.4.5	<i>Scripting</i> . . . . .	73
4.5	Comunicação/Eventos . . . . .	74
4.6	Componente Cola . . . . .	75
4.7	Conclusões e Observações . . . . .	76
<b>5</b>	<b>Implementação e Resultados</b>	<b>78</b>
5.1	Arquitetura Implementada . . . . .	78
5.1.1	Camada Serviço . . . . .	78
5.1.1.1	Balanceamento de carga . . . . .	80
5.1.1.2	Gerenciamento de Memória . . . . .	81
5.1.1.3	Depuração/ <i>Log</i> . . . . .	81
5.1.2	Camada Cognição . . . . .	82
5.1.2.1	Tomada de Decisão . . . . .	83
5.1.3	Camada Comportamento . . . . .	84
5.1.3.1	Máquinas de Estados . . . . .	84
5.1.3.2	Movimentação . . . . .	85
5.1.3.3	Planejamento de Ações . . . . .	88
5.1.3.4	Lógica <i>Fuzzy</i> . . . . .	89
5.1.3.5	<i>Scripting</i> . . . . .	92
5.1.4	Comunicação/Eventos . . . . .	94
5.2	Ambiente de Testes . . . . .	94
5.3	Cenário Geral de Uso do MIAGI . . . . .	95
5.4	Estudo de Caso como <i>Framework</i> . . . . .	97
5.5	Estudo de Caso como Biblioteca . . . . .	98
5.6	Aplicação a Outros Gêneros de Jogos . . . . .	100
5.7	Conclusões e Observações . . . . .	101
<b>6</b>	<b>Conclusão</b>	<b>104</b>
6.1	Considerações Gerais . . . . .	104
6.2	Contribuições . . . . .	106
6.3	Trabalhos Futuros . . . . .	107
	Referências Bibliográficas	<b>109</b>

## Lista de Figuras

1.1	Organograma da equipe de Baldur's Gate e Neverwinter Nights	13
2.1	Máquina de estados de um personagem de um FPS	20
2.2	Hierarquia de comportamentos de movimentação	27
2.3	Exemplo dos comportamentos <i>Seek</i> e <i>Flee</i>	28
2.4	Exemplos de comportamentos de movimentação em grupo	30
2.5	Processo básico de execução de um algoritmo genético	34
4.1	Camadas da arquitetura do protótipo do <i>middleware</i>	60
4.2	Camadas da arquitetura atual do MIAGI	63
4.3	Hierarquia de modelagem de CG	68
4.4	Pirâmide de necessidades de Maslow	69
4.5	Diagrama dos módulos de um sistema de inferência <i>fuzzy</i>	71
5.1	Diagrama de classes do MIAGI	79
5.2	Diagrama de classes da implementação das FSMs	85
5.3	Diagrama de classes dos <i>Steering Behaviours</i>	86
5.4	Exemplo da execução do cálculo de caminhos	87
5.5	Diagrama de classes dos objetivos	88
5.6	Diagrama de classes do sistema de inferência <i>fuzzy</i>	90
5.7	Funções de pertinência implementadas	91
5.8	Exemplo de código C++ da classe <i>Skeleton</i>	93
5.9	Exemplo de <i>binding</i> da classe <i>Skeleton</i> para Lua	93
5.10	Execução dos agentes implementados no simulador Robocode	99

## Lista de Tabelas

3.1	Uma comparação entre diferentes motores de IA . . . . .	57
4.1	Exemplos de personalidades associadas aos traços do OCEAN .	67
5.1	MIAGI comparado aos diferentes motores de IA analisados . . .	102